Heizversuche an Kesselfeuerungen.

Von

HANNS VON JÜPTNER.

Separat-Abdruck aus der »Oesterreichischen Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen«, XLII. Jahrgang, 1894.

LEIPZIG.
Im Debit bei ARTHUR FELIX, Buchhandlung.
1894.

Heizversuche an Kesselfeuerungen.

Von

HANNS VON JÜPTNER.

Separat-Abdruck aus der »Oesterreichischen Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen«. XLII. Jahrgang. 1894.

LEIPZIG.

Im Debit bei ARTHUR FELIX, Buchhandlung.

1894.

Veranlassung zu den nachfolgenden Heizversuchen ergab die Erprobung eines Rauchverzehrungsapparates Patent Mörath. Da diese Versuche jedoch ausser dem ursprünglich beabsichtigten Zwecke noch Aufschlüsse lieferten, welche ein allgemeineres Interesse beanspruchen, glaubt der Verfasser, dieselben auch veröffentlichen zu sollen. Die wichtigsten dieser Erfahrungen mögen an die Spitze der nachfolgenden Arbeit gestellt werden; es sind folgende:

1. Heizversuche haben nicht allein den Zweck, eine bestehende Feuerungsanlage zu beurtheilen und hieran, wenn nöthig, Vorschläge zu constructiven Verbesserungen derselben zu knüpfen, sondern oft auch, für eine vorhandene Feuerungsanlage (ohne jede Veränderung an derselben) die beste Art der Wartung, wozu auch die Auswahl des geeignetsten Brennmateriales gehört, zu ermitteln, endlich aber auch, Erfahrungen zu sammeln, die in künftigen Fällen nutzbringende Anwendung finden können.

2. Zu diesem Zwecke genügt in den seltensten Fällen ein einzelner Heizversuch; in den meisten Fällen ist eine Serie solcher Untersuchungen erforderlich, und zwar wären für eine Feuerungsanlage und einen bestimmten Brennstoff im Allgemeinen mindestens 3 Heizversuche mit abgeänderten Verbrennungsbedingungen auszuführen.

3. Die bisherige Beschränkung in der Bearbeitung von Heizversuchen auf die Aufstellung einer Wärmebilanz genügt nicht; es ist vielmehr auch eine Betrachtung der Wärmevertheilung in den verschiedenen Partien der Feuerungsanlage, namentlich mit Berücksichtigung der Temperaturhöhen, sehr wünschenswerth, da hiedurch erst manche dunkle Vorgänge ihre Erklärung finden.

4. Die sehr verbreitete Anschauung, dass zur bestmöglichen Ausnützung des Brennstoffes die Erzielung einer vollständigen Verbrennung Hauptbedingung sei, ist nur unter Beschränkung richtig, denn in vielen Fällen der Praxis kann — wie gerade die nachfolgenden Heizversuche zeigen — bei einer ziemlich unvollständigen Verbrennung ein weit günstigeres Resultat erzielt werden, als bei einer nur mühsam und durch grossen Luftüberschuss erzwungenen vollständigen Verbrennung.

Die Begründung der vorstehenden Sätze wird sich aus dem Weiteren ergeben.

I. Die Feuerungen und der Brennstoff.

Die zur Untersuchung gelangten Kessel (Nr. 1515, 1518, 1519 und 1520) sind, wenn auch sehr ähnlich, doch nicht völlig einander gleich, wie aus der nachfolgenden Zusammenstellung ersichtlich ist:

Kessel Nr.		1515, 1516, 1517	1518	1519, 1520
Oberkessel	Länge, *m*	9,64	9,32	8,85
	Diameter, *m*	1,42	1,42	1,42
Unterkessel	Länge, *m*	7,50	7,27	7,35
	Diameter, *m*	1,10	1,10	1,10
Heizfläche, m^2		52,00	50,00	46,00
Wirksame Rostfläche, m^2		2,13	2,13	2,13
Anzahl der nutzbaren Feuerzüge		3	3	2
Verhältniss $\frac{\text{Rostfläche}}{\text{Heizfläche}}$ =		$\frac{1}{24,4}$	$\frac{1}{23,5}$	$\frac{1}{21,6}$

Die 3 der 6 die ganze Anlage bildenden Kessel besitzen einen gemeinsamen Rauchcanal, und die allen 6 Kesseln gemeinsame Esse ist zwischen den Kesseln Nr. 1517 und 1518 situirt.

Die Heizversuche wurden in verschiedenen Jahren, und zwar einmal je ein Heizversuch an den Kesseln Nr. 1515, 1518 und 1520 (ohne Rauchverzehrungsapparat), das andere Mal je 2 Heizversuche an den Kesseln Nr. 1519 und 1520, und zwar einmal mit, das andere Mal ohne den Mörath'schen Rauchverzehrungsapparat ausgeführt. Da die Kessel zur Bedienung eines Bessemergebläses bestimmt waren, zerfällt die erste Serie von Heizversuchen in jenen Theil, welcher sich auf die Chargenzeit, und in jenen, welcher sich auf die dazwischen liegenden Pausen bezieht.

Der Mörath'sche Rauchverzehrungsapparat besteht aus einer Dampfleitung an der Rückwand der Feuerung, aus welcher durch eine Reihe feiner Oeffnungen der Dampf in der Richtung gegen den Treppenrost ausströmt, wodurch eine bessere Mischung von Gasen und Verbrennungsluft erzielt werden soll, sowie aus einer 2. unter dem Roste und zwischen fächerartig angeordneten Stufen angebrachten Dampfleitung, durch deren gleichfalls feine Oeffnungen der Dampf unter den Rost strömt und eine injectorartige Wirkung verursachen soll.

Die bei der 1. Serie von Heizversuchen verwendete Kohle enthielt nach der Elementaranalyse:

Kohlenstoff	57,49%	
Wasserstoff, disponibel	1,81%	
Stickstoff	0,37%	
Wasser, chem. geb.	19,36%	Wasserstoff = 2,15%
Wasser, hygroskopisch	12,05%	Sauerstoff = 17,21%
Asche	8,92%	
Gehalt an verbrennlichem Schwefel	0,89%	

Absoluter Wärmeeffect nach Dulong = 5091 Cal.
" " " O. Gmelin's Formel = 5744 "

Da der erstere Heizwerth entschieden zu niedrig ist, weil sich hiebei für die Wärmeverluste durch Leitung und Strahlung negative Werthe ergeben, wurde der Berechnung der Heizversuche der 2. Heizwerth zu Grunde gelegt.

Die bei der 2. Versuchsreihe angewendeten Fohnsdorfer-Braunkohlen bestanden nach der Elementaranalyse aus:

Kohlenstoff	49,70%	
Wasserstoff, disponibel	1,56%	
Stickstoff	0,32%	
Wasser, chem. geb.	16,73%	Wasserstoff = 1,86%
Wasser, hygroskopisch	18,82%	Sauerstoff = 14,87%
Asche	12,87%	
Gehalt an verbrennlichem Schwefel	0,77%	

Absoluter Wärmeeffect nach Dulong = 4571,4 Cal.
" " " O. Gmelin's Formel = 4561,0 "

welche beide Werthe negative Leitungs- und Strahlungs-Verluste ergaben, also zu klein sind. Es wurde daher der Heizwerth nach Jüptner's Methode[1]) wie folgt bestimmt.

Die in grösserem Maasstabe ausgeführten Proben ergaben im Mittel:

Wasser, hygroskopisch (wie oben)	18,82%
Asche (wie oben)	12,87%
Gasgiebigkeit	28,20%
Kohliger Rückstand	40,11%
	100,00%

Zur Verbrennung von 1 *kg* des Brennstoffes erforderliche Sauerstoffmenge S = 1,42005

Hieraus berechnet sich:

Sauerstoffbedarf des Coke-Kohlenstoffes

$$S_1 = \frac{8}{3} \times 0,4011 = 1,06667$$

[1]) Oesterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen, 1893, Nr. 33, 34.

Sauerstoffbedarf der Gase $S_{,,} = S - S_{,}$ $= 0,35338$

$$\frac{S_{,,}}{S_{,}} = \frac{0,35338}{1,06667} = 0,33$$

dem Verhältnisse $\frac{S_{,,}}{S_{,}}$ entspricht der durch

Interpolation berechnete Coëfficient C $= 5000$

Brennwerth des Coke-Kohlenstoffes $p_{,} =$

$0,4011 \times 7630 = 3060,4$ Cal.

„ der Gase $p_{,,} = 0,3534 \times 5000 = 1767,0$ „

Brennwerth der Kohle p $= 4827,4$ Cal.

der bei Berechnung der Heizversuche auf 4830 Cal. abgerundet zu Grunde gelegt ist.

II. Berechnung der Heizversuche und Aufstellung der Wärmebilanzen.

Um nicht überflüssig Raum zu beanspruchen wird von der detaillirten Art der Berechnung abgesehen.

A. Erste Versuchsreihe.

1. Heizversuch bei Kessel Nr. 1520.

Dauer des Versuches 18 Stunden.
Menge der verbrannten Kohle 980 *kg*.
Verdampfte Wassermenge 4667 *l*.
Verdampfung pro 1 *kg* Kohle 4,76 *l*.
Mittlere Temperatur des Speisewassers 9° C.
„ Dampfspannung 4,5 Atm.
Siedetemperatur 156° C.
Menge des Rostdurchfalles 175 *kg*.
oder pro 100 *kg* Kohle 17,85 *kg*.

Zusammensetzung des Rostdurchfalles:

	in Procenten		pro 100 *kg* Kohle
Kohlenstoff	24,14%	Kohlenstoff	4,31 *kg*
Asche	75,86%	Asche	13,54 *kg*
	100,00		17,85 *kg*.

Mittl. Temperatur der zuströmenden Verbrennungsluft 18,4° C.
Mittlerer Feuchtigkeitsgehalt der zuströmenden Verbrennungsluft 6,87 Gew. %.
Mittlere Temperatur der Essengase 260° C.
Mittlere Zusammensetzung der Essengase (mit Berücksichtigung der Saugzeit)

	während der Pausen	während der Chargen	Gesammt-Mittel
Kohlenoxyd . .	0,07 Vol.%	0,00 Vol.%	0,05 Vol.%
Kohlensäure . .	5,49 „	8,87 „	6,33 „
atmosph. Luft .	72,09 „	52,44 „	67,13 „
Stickstoff . . .	22,35 „	38,89 „	26,49 „

	oder pro 100 *kg* Kohlen
Kohlenoxyd . .	1,31 *kg*
Kohlensäure . .	192,94 *kg*
atmosph. Luft . .	1346,00 *kg*
Stickstoff . . .	515,93 *kg*
	2056,18 *kg*.

Zusammensetzung der Verbrennungsluft:

	in Gew.%	in *kg* pro 100 *kg* Kohle
trockene Luft .	99,13	2016,04
Wasser . . .	0,87	17,69
	100,00	2033,73.

Feuchtigkeitsgehalt der Essengase pro 100 *kg* Kohle:
aus der Kohle . . . . 31,41 *kg*
durch Verbrennung des disponiblen Wasserstoffes 16,29 *kg*
aus der Verbrennungsluft . . . . 17,69 *kg*
65,39 *kg*

Wärmecapacität der Essengase $= 519,70$ Cal.
„ „ Verbrennungsluft $= 488,47$ „
Heizeffect der Kohle $= 5744$ Cal.

Wärmebilanz:

	Benanntlich	Einzeln Calorien	Einzeln %	Zusammen Calorien	Zusammen %
Wärmeproduction	Von Aussen zugeführt:				
	α) durch die Kohle	460	0,08		
	β) durch die (trockene) Verbrennungsluft . . . γ) durch die Luftfeuchtigkeit	8 990	1,54	9 450	1,62
	Heizwerth der Kohle	574 400	98,38	574 400	98,38
	Total	583 850	100,00	583 850	100,00
Wärmevertheilung	Nutzeffect	307 070	52,62	307 070	52,62
	Wärmeentgang durch unvollständige Verbrennung	37 970	6,50	36 970	6,50
	„ „ die Temperatur des Rostdurchfalles	1 323	0,22	1 323	0,22
	„ „ „ „ der Essengase				
	α) durch die trockenen Gase	126 947	21,74		
	β) „ ihren Wassergehalt	45 903	7,86	172 850	29,60
	Wärmeverlust durch Leitung und Strahlung	64 737	11,06	64 637	11,06
	Total	583 850	100,00	583 850	100,00

2. Heizversuch bei Kessel Nr. 1518.

Dauer des Versuches 23 Stunden.
Menge der verbrannten Kohle 1540 *kg*.
Verdampfte Wassermenge 7318 *l*
oder pro 100 *kg* Kohle 475 *l*.
Verdampfung pro 1 *kg* Kohle 4,75 *l*.
Mittlere Temperatur des Speisewassers 12° C.
„ Dampfspannung 4,8 *at*.
Siedetemperatur 158° C.
Menge des Rostdurchfalles 246 *kg*
oder pro 100 *kg* Kohle 15,96 *kg*.
Zusammensetzung des Rostdurchfalles:

in Procenten		pro 100 *kg* Kohle	
Kohlenstoff	25,28%	Kohlenstoff	4,04 *kg*
Asche	74,72%	Asche	11,92 *kg*
	100,00		15,96 *kg*

Mittlere Temperatur der zuströmenden Verbrennungsluft 19,4° C.
Mittlerer Feuchtigkeitsgehalt der zuströmenden Verbrennungsluft 0,92 Gewichts%.
Mittlere Temperatur der Essengase 232° C.
Mittlere Zusammensetzung der Essengase (mit Berücksichtigung der Saugzeit)

	während der Pausen	während der Chargen	Gesammt-Mittel
Kohlenoxyd . .	0,17 Vol.%	0,5 Vol.%	0,26 Vol.%
Kohlensäure . .	4,33 „	7,8 „	5,22 „
atmosph. Luft .	78,92 „	56,6 „	73,17 „
Stickstoff . . .	165,8 „	35,1 „	21,35 „

oder pro 100 *kg* Kohle

Kohlenoxyd . .	5,93 *kg*
Kohlensäure . .	186,67 *kg*
atmosph. Luft . .	1721,28 *kg*
Stickstoff . . .	487,88 *kg*
	2401,76 *kg*.

Zusammensetzung der Verbrennungsluft:

	in Gew.%	in *kg* pro 100 *kg* Kohle
trockene Luft .	99,08	2355
Wasser . . .	0,92	21,87
	100,00	2376,87

Feuchtigkeitsgehalt der Essengase pro 100 *kg* Kohle:

aus der Kohle	31,41 *kg*
durch Verbrennung des disponiblen Wasserstoffes	16,29 *kg*
aus der Verbrennungsluft	21,87 *kg*
	69,57 *kg*.

Wärmecapacität der Essengase = 603,81 Cal.
„ „ Verbrennungsluft = 571,1 „
Heizeffect der Kohlen = 5744 Cal.

Wärmebilanz:

	Benanntlich	Einzeln Calorien	Einzeln %	Zusammen Calorien	Zusammen %
Wärmeproduction	Von Aussen zugeführt:				
	α) durch die Kohle	485	0,08		
	β) „ „ (trockene) Verbrennungsluft . . .	11 080	1,89	11 565	1,97
	γ) „ „ Luftfeuchtigkeit				
	Heizwerth der Kohle	574 400	98,03	574 400	98,03
	Total	585 965	100,00	585 965	100,00
Wärmevertheilung	Nutzeffect	305 280	52,06	305 280	52,06
	Wärmeentgang durch unvollständige Verbrennung	45 594	7,77	45 594	7,77
	„ „ die Temperatur des Rostdurchfalles	1 296	0,22	1 296	0,22
	„ „ „ „ der Essengase:				
	α) durch die trockenen Gase	132 321	22,58		
	β) „ ihren Wassergehalt	48 699	8,31	181 020	30,89
	Wärmeverlust durch Leitung und Strahlung	52 775	9,06	52 775	9,06
	Total	585 965	100,00	585 965	100,00

3. Heizversuch bei Kessel Nr. 1515.

Dauer des Versuches 23 Stunden.
Menge der verbrannten Kohle 1540 *kg*.
Verdampfte Wassermenge 7110 *l*
oder pro 100 *kg* Kohle 462 *l*.
Verdampfung pro 1 *kg* Kohlen 4,62 *l*.
Mittlere Temperatur des Speisewassers 12° C.
„ Dampfspannung 4,3 *at*.
Siedetemperatur 153,7° C.
Menge des Rostdurchfalles 226 *kg*
oder pro 100 *kg* Kohlen 14,67 *kg*.
Zusammensetzung des Rostdurchfalles:

in Procenten		pro 100 *kg* Kohle	
Kohlenstoff	22,79%	Kohlenstoff	3,35 *kg*
Asche	77,21%	Asche	11,32 *kg*
	100,00		14,67 *kg*.

Mittlere Temperatur der zuströmenden Verbrennungsluft 19,4° C.

Mittlerer Feuchtigkeitsgehalt der zuströmenden Verbrennungsluft 1,26 Gew.%

Mittlere Temperatur der Essengase 285° C.

Mittlere Zusammensetzung der Essengase (mit Berücksichtigung der Saugzeit):

	während der Pause	während der Chargen	Gesammt-Mittel
Kohlenoxyd	0,00 Vol.%	0,62 Vol.%	0,18 Vol.%
Kohlensäure	5,24 „	10,71 „	6,82 „
atmosph. Luft	74,10 „	43,82 „	65,34 „
Stickstoff	20,66 „	44,85 „	27,66 „

oder pro 100 *kg* Kohle

Kohlenoxyd	3,24 *kg*
Kohlensäure	193,42 *kg*
atmosph. Luft	1219,97 *kg*
Stickstoff	501,67 *kg*
	1918,30.

Zusammensetzung der Verbrennungsluft:

	in Gew.%	in *kg* pro 100 *kg* Kohle
trockene Luft	98,74	1872
Wasser	1,26	23,89
	100,00	1895,89

Feuchtigkeitsgehalt der Essengase pro 100 *kg* Kohle:

aus der Kohle . . . . 31,41 *kg*
durch Verbrennung des disponiblen Wasserstoffes 16,29 *kg*
aus der Verbrennungsluft . . . . 23,89 *kg*
71,59 *kg*.

Wärmecapacität der Essengase = 489,77 Cal.
„ „ Verbrennungsluft = 457,08 „
Heizeffect der Kohle = 5744 Cal.

Wärmebilanz:

	Benanntlich	Einzeln Calorien	Einzeln %	Zusammen Calorien	Zusammen %
Wärmeproduction	Von Aussen zugeführt:				
	α) durch die Kohle	485	0,08		
	β) „ „ (trockene) Verbrennungsluft	8 870	1,52	9 355	1,60
	γ) „ „ Luftfeuchtigkeit				
	Heizeffect der Kohle	574 400	98,40	574 400	98,40
	Total	583 755	100,00	583 755	100,00
Wärmevertheilung	Nutzeffect	296 320	50,77	296 320	50,77
	Wärmeentgang durch unvollständige Verbrennung	34 860	5,97	34 860	5,97
	„ „ die Temperatur des Rostdurchfalles	1 226	0,21	1 226	0,21
	„ „ „ „ der Essengase				
	α) durch die trockenen Gase	129 772	22,23		
	β) „ ihren Wassergehalt	51 974	8,90	181 746	31,13
	Wärmeverlust durch Leitung und Strahlung	69 603	11,92	69 603	11,92
	Total	583 755	100,00	583 755	100,00

B. Zweite Versuchsreihe.

4. Heizversuch bei Kessel Nr. 1520

(mit Mörath'schem Schwarzrauch-Verzehrungsapparat).

Dauer des Versuches 3 Stunden 10 Minuten.

Menge der verbrannten Kohle 859 *kg* (pro Stunde 271 *kg*). Verdampfte Wassermenge 3994 *l* (pro Stunde 1260 *l*; per 100 *kg* Kohle 465 *l*). Verdampfung pro 1 *kg* Kohle 4,65 *l*. Mittlere Temperatur des Speisewassers 10° C. Mittlere Dampfspannung 5,2 *at*. Siedetemperatur 152,47° C. Menge des Rostdurchfalles 114,30 *kg* oder pro 100 *kg* Kohle 13,05 *kg*. Zusammensetzung des Rostdurchfalles:

in Procenten		pro 100 *kg* Kohle	
Wasser	0,33 *kg*	Wasser	0,03 *kg*
Kohlenstoff	2,95 *kg*	Kohlenstoff	0,15 *kg*
Asche	96,72 *kg*	Asche	12,87 *kg*
	100,—		13,05 *kg*.

Mittlere Temperatur der zuströmenden Verbrennungsluft 16° C.

Mittlerer Feuchtigkeitsgehalt der zuströmenden Verbrennungsluft 8,60 *g* pro 1 m^3.

Mittlerer Barometerstand 705,1 *mm*.

Mittlere Temperatur der Essengase 347,3° C.

„ Zusammensetzung der Essengase (mit Berücksichtigung der Saugzeit):

Kohlensäure	8,6 Vol.%
Sauerstoff	7,7 „
Kohlenoxyd	0,2 „
Stickstoff	83,5 „
	100 Vol.%

oder per 100 *kg* Kohle:

Kohlensäure . . .	89,92 m^3
Sauerstoff . . .	80,51 m^3
Kohlenoxyd . . .	2,08 m^3
Stickstoff	873,08 m^3
	1045,59 m^3.

Zusammensetzung der Verbrennungsluft:

	pro 1 m^3	pro 100 *kg* Kohle	
Sauerstoff	0,21 m^3	232,00 m^3	1104,76 m^3
Stickstoff	0,79 m^3	872,76 m^3	
Wasser	0,0086 *kg*	9,50 *kg*.	

Feuchtigkeitsgehalt der Essengase pro 100 *kg* Kohle:

aus der Verbrennungsluft . . .	9,50 *kg*
aus der Kohle	18,82 *kg*
bei der Verbrennung gebildet . .	30,78 *kg*
	59,10 *kg*
Als Dampf eingeblasenes Wasser . .	3,02 *kg*
Heizeffect der Kohle 4830 Cal.	62,12 *kg*.

Wärmezufuhr durch Luft und Kohle:

α) durch Kohle 20 × 0,20 × 100 = . . . 400 Cal.
β) „ Luft 20 × 0,3075 × 1104,76 = . 6794 „
„ Luftfeuchtigkeit 612,6 × 9,5 = . 5820 „
13014 Cal.

Wärmeentgang durch unvollständige Verbrennung:

α) Kohle im Rostdurchfall 8080 × 0,39 = . 3151 Cal.
β) Kohlenoxyd der Gase 2,08 × 3007 = . 6255 „
9406 Cal.

Wärmeentgang durch Essengase:

m^3

CO_2 89,92 × 0,4266 = 38,3599
O_2 80,51 × 0,3121 = 25,1272
CO 2,08 × 0,3034 = 0,6311
N_2 873,08 × 0,3060 = 267,6863
331,8045 × 347,3 = 115 236 Cal.
H_2O 59,1 (637 + 247,3 × 0,48) = 44 661 „
159 897 Cal.

Wärmeverluste durch Leitung und Strahlung:

Da diese Wärmeverluste für ein und dieselbe Feuerung proportional der Zeit und Temperatur sind, wurden dieselben aus dem Heizversuche Nr. 6 (siehe unten) wie folgt berechnet:

Gesammt-Leitungs- und Strahlungs-Verlust während der Versuchsdauer =

$$= 14405 \times 8{,}19 \times \frac{3{,}17}{3{,}08} \times \frac{1198}{1064} \quad . \quad . \quad 125\,405 \text{ Cal.}$$

Somit Leitungs- und Strahlungs-Verlust

$$\text{pro } 100\,kg \text{ Kohle} = \frac{125\,405}{8{,}59} \quad . \quad . \quad 14\,599 \text{ „}$$

Nutzeffect: Da eine directe Berechnung durch Versehen des Heizers, der aus der Wasserleitung statt aus dem Reservoir speiste, unmöglich war, musste der Nutzeffect aus der Differenz berechnet werden. Man fand:

Heizeffect	483 000 Cal.	
Wärmezufuhr v. aussen	13 014 „	496 014 Cal.
Wärmezufuhr durch eingeblasenen Dampf		1 924 „
		497 938 Cal.
Wärmeverlust durch unvollk. Verbrennung . .	9 406 Cal.	
Wärmeverl. d. die Temperatur des Rostdurchfalles .	1 274 „	
Wärmeverl. d. Essengase .	159 897 „	
„ „ Leitung und Strahlung	14 599 „	185 176 Cal.
Nutzbargemachte Wärme		312 762 Cal.
Ab: Wärmeverlust durch Abkühlung des eingeblasenen Dampfes		76 „
Nutzbargemachte Wärme . .		312 686 „

Rechnet man die eingeblasene Dampfmenge ab, so reducirt sich der Nutzeffect auf 62,50%.

Wärmebilanz:

	Benanntlich	Einzeln Calorien	Einzeln %	Zusammen Calorien	Zusammen %
Wärmeproduction	Von Aussen zugeführt:				
	α) durch die Kohle	400	0,08		
	β) „ „ trockene Luft	6 794	1,36		
	γ) „ „ Luftfeuchtigkeit	5 820	1,16		
	δ) „ den eingeblasenen Dampf	1 924	0,38	14 938	2,98
	Heizwerth der Kohle	483 000	97,02	483 000	97,02
	Total	497 938	100,00	497 938	100,00
Wärmeverwendung	Nutzeffect	312 686	62,91	312 686	62,91
	Wärmeentgang durch unvollständige Verbrennung	9 406	1,88	9 406	1,88
	„ „ die Temperatur des Rostdurchfalles	1 274	0,25	1 274	0,25
	„ „ „ „ der Esse:				
	α) durch die trockenen Gase	115 236	23,06		
	β) „ ihren Wassergehalt	44 661	8,94	159 897	32,00
	Wärmeentgang durch Abkühlung des eingeblasenen Dampfes . .	76	0,02	76	0,02
	Leitungs- und Strahlungs-Verlust	14 599	2,94	14 599	2,94
	Total	497 938	100,00	497 938	100,00

5. Heizversuch bei Kessel Nr. 1519

(ohne Mörath's Schwarzrauch - Verzehrungs - Apparat),
Dauer des Versuches 3 Stunden 10 Minuten.

Menge der verbrannten Kohle 999 *kg* (pro Stunde 315 *kg*).
Verdampfte Wassermenge (berechnet) 4276 *l* (pro Stunde 315 *l*; pro 100 *kg* Kohle 428 *l*).
Verdampfung pro 1 *kg* Kohle 4,28 *l*.
Mittlere Temperatur des Speisewassers 10° C.
" Dampfspannung 5,2 *at*
Siedetemperatur 152,47° C.
Menge des Rostdurchfalles 130,79 *kg* oder pro 100 *kg* Kohle 13,31 *kg*.

Zusammensetzung des Rostdurchfalles

in Procenten		pro 100 *kg* Kohle	
Wasser	0,24%	Wasser	0,05 *kg*
Kohlenstoff	1,15%	Kohlenstoff	0,39 *kg*
Asche	98,61%	Asche	12,87 *kg*
	100,00%		13,31 *kg*

Mittl. Temperat. d. zuströmenden Verbrennungsluft 16° C.
Mittlerer Feuchtigkeitsgehalt der zuströmenden Verbrennungsluft 8,60 *g* pro 1 m^3.
Mittlerer Barometerstand 705,1 *mm*.
Mittlere Temperatur der Essengase über 435,75° C.
Mittlere Zusammensetzung der Essengase (mit Berücksichtigung der Saugzeit):

Kohlensäure	17,7 Vol.%
Sauerstoff	6,3 "
Kohlenoxyd	0,9 "
Stickstoff	82,1 "
	100,00 Vol.%

oder pro 100 *kg* Kohle:

Kohlensäure	91,42 m^3
Sauerstoff	53,80 m^3
Kohlenoxyd	7,68 m^3
Stickstoff	701,13 m^3
	851,13 m^3

Zusammensetzung der Verbrennungsluft

	pro 1 m^3	pro 100 *kg* Kohle	
Sauerstoff	0,21 m^3	186,29 m^3	887,10 m^3
Stickstoff	0,79 m^3	700,81 m^3	
Wasser	0,0086 *kg*	7,63 *kg*.	

Feuchtigkeitsgehalt der Essengase pro 100 *kg* Kohlen:

aus der Verbrennungsluft	7,63 *kg*
aus der Kohle	18,82 *kg*
bei der Verbrennung gebildet	30,78 *kg*
	57,23 *kg*

Heizeffect der Kohle 4830 Cal.

Wärmezufuhr durch Luft und Kohle:

α) durch die Kohle $20 \times 0,20 \times 100$ = 400 Cal.
β) durch die Luft $20 \times 0,3075 \times 700,81$ = 4310 "
durch die Luftfeuchtigk. $612,6 \times 7,63$ = 4674 "
9384 Cal.

Wärmeentgang durch unvollständige Verbrennung:

α) Kohle im Rostdurchfalle $8080 \times 0,15$ = 1 212 Cal.
β) Kohlenoxyd der Gase $7,68 \times 3007$ = 23 094 "
24 304 Cal.

Wärmeentgang durch die Essengase:

	m^3	
CO_2	$91,42 \times 0,4266 =$	39,1998
C_2	$53,80 \times 0,3121 =$	16,7910
CO	$7,68 \times 0,3034 =$	2,3301
N_2	$701,13 \times 0,3066 =$	214,9665

$273,2874 \times 436 =$ 119 153 Cal.
H_2O $57,23\,(637 + 336 \times 0,48) =$ 45 687 Cal.
164 840 Cal.

Wärmeverluste durch Leitung und Strahlung (die Berechnung erfolgte ähnlich wie beim vorigen Heizversuche).

Gesammt-Leitungs- und Strahlungs-Verlust während der Versuchsdauer:

$$14\,405 \times 8,19 \times \frac{3,17}{3,08} \times \frac{1374}{1064} = \quad 156\,756 \text{ Cal.}$$

Somit Leitungs- und Strahlungs-Verlust pro

$$100\,kg \text{ Kohle} = \frac{156756}{9,99} = \quad 15\,691 \text{ "}$$

Nutzeffect (derselbe musste aus gleichem Grunde wie beim vorigen Heizversuche aus der Differenz bestimmt werden)

Heizeffect	483 000 Cal.	
Wärmezufuhr v. aussen	9 384 "	492 384 Cal.
Wärmeverlust durch unvollk. Verbrennung	24 306 Cal.	
Wärmeverlust d. die Temperatur des Rostdurchfalles	1 274 "	
Wärmeverlust durch Essengase	164 840 "	
" " Leitung und Strahlung	15 691 "	206 111 "
Nutzbar gemachte Wärme		286 273 Cal.

(Siehe Tabelle: „Wärmebilanz“ auf Seite 10.)

6. Heizversuch bei Kessel Nr. 1520

(ohne Mörath'schen Schwarzrauch-Verzehrungs-Apparat).

Dauer des Versuches 3 Stunden 5 Minuten.

Menge der verbrannten Kohle 819 *kg* (pro Stunde 265,91 *kg*).
Verdampfte Wassermenge 3439 *l* (pro Stunde 1116,56 *l*; pro 100 *kg* Kohle 420 *l*).
Verdampfung per 1 *kg* Kohle 4,20 *l*.
Mittlere Temperatur des Speisewassers 10° C.
" Dampfspannung 5,2 *at*.
Siedetemperatur 152,47° C.
Menge des Rostdurchfalles 106,88 *kg* oder pro 100 *kg* Kohle 13,05 *kg*.

Wärmebilanz:

	Benanntlich	Einzeln		Zusammen	
		Calorien	%	Calorien	%
Wärmeproduction	Von Aussen zugeführt:				
	α) durch die Kohle	400	0,08		
	β) „ „ Luft	4 310	0,87		
	γ) „ „ Luftfeuchtigkeit	4 674	0,94	9 384	1,89
	Heizwerth der Kohle	483 000	98,11	483 000	98,11
	Total	492 384	100,00	492 384	100,00
Wärmeverwendung	Nutzeffect	286 273	58,48	286 873	58,48
	Wärmeentgang durch unvollständige Verbrennung	24 306	4,92	24 306	4,92
	„ „ die Temperatur des Rostdurchfalles	1 274	0,26	1 274	0,26
	„ „ „ Esse:				
	α) durch die trockenen Gase	119 153	24,12		
	β) „ ihren Wassergehalt	45 687	9,25	164 840	33,37
	Leitungs- und Strahlungs-Verlust	15 691	2,97	15 691	2,97
	Total	492 384	100,00	492 384	100,00

Zusammensetzung des Rostdurchfalles

in Procenten		pro 100 *kg* Kohle	
Wasser	0.24%	Wasser	0,03 *kg*
Kohlenstoff	1,15%	Kohlenstoff	0,15 *kg*
Asche	98,61%	Asche	12,87 *kg*
	100,00%		13,02 *kg*

Mittlere Temperatur der zuströmenden Verbrennungsluft 16,98° C.

Mittlerer Feuchtigkeitsgehalt der zuströmenden Verbrennungsluft 9,9 *g* pro 1 m^3.

Mittlerer Barometerstand 713,65 *mm*.

Mittlere Temperatur der Essengase 354° C.

„ Zusammensetzung der Essengase (mit Berücksichtigung der Saugzeit):

Kohlensäure	6,0 Vol.%
Sauerstoff	12,2 „
Kohlenoxyd	— „
Stickstoff	81,8 „
	100,0 Vol.%

oder pro 100 *kg* Kohle:

Kohlensäure	92,46 m^3
Sauerstoff	188,00 m^3
Kohlenoxyd	—
Stickstoff	1260,54 m^3
	1541,00 m^3

Zusammensetzung der Verbrennungsluft

	pro 1 m^3	pro 100 *kg* Kohle	
Sauerstoff	0,21 m^3	335,01 m^3	1595,30 m^3
Stickstoff	0,79 m^3	1260,29 m^3	
Wasser	0,0099 *kg*	15,79 m^3	

Feuchtigkeitsgehalt der Essengase pro 100 *kg* Kohlen:

aus der Verbrennungsluft	15,79 *kg*
aus der Kohle	18,82 *kg*
bei der Verbrennung gebildet	30,78 *kg*
	65,39 *kg*

Heizeffect der Kohle 4830 Cal.

Wärmezufuhr durch Luft und Kohle:

α) durch die Kohle $21{,}25 \times 0{,}20 \times 100 =$ 425 Cal.

β) durch die Luft $21{,}25 \times 0{,}3075 \times 1595{,}3 = 10\,424$ „

durch den Wassergehalt der Luft $613 \times 17{,}79 = 10\,905$ „

21 754 Cal.

Wärmeentgang durch unvollständige Verbrennung:

Kohle im Rostdurchfall $0{,}15 \times 8080$ . . 1212 Cal.

Wärmeentgang durch die Essengase:

	m^3	sp. W.	W. Cap.
CO_2	92,46	× 0,4266 =	39,3879
O_2	188,00	× 0,3121 =	58,6748
N_2	1260,54	× 0,3066 =	386,4816

$484{,}5443 \times 354 = 171\,528$ Cal.

H_2O $65{,}39 (637 + 254 \times 0{,}48)$ . . $= 47\,631$ „

Nutzbar gemachte Wärme 219 159 Cal.

Verdampftes Wasser pro 100 *kg* Kohle

$$\frac{100 \times 3439}{81{,}9} = 420{,}40\ l.$$

Verdampfungswärme desselben bei 5,2 *at.*

$420{,}4 \times 653{,}01$ . . . . . . $= 274\,525$ Cal.

Hievon ist abzuziehen die vom 10° C. warmen Speisewasser mitgebrachte Wärme

$10 \times 420{,}4$ . . . . $= 4\,204$ „

270 321 Cal.

Wärmeentgang durch die Temperatur des Rostdurchfalles

$13{,}02 \times 0{,}24 \times 400$ . . . . 1250 Cal.

Wärmeverlust durch Strahlung und Leitung:

$483\,000 + 21\,754 - (1212 + 219\,159 + 270\,321 + 1250)$ . . . . . $= 12\,805$ Cal.

Wärmebilanz:

	Benanntlich	Einzeln Calorien	Einzeln %	Zusammen Calorien	Zusammen %
Wärmeproduction	Von Aussen zugeführt:				
	α) durch die Kohle	425	0,08		
	β) „ „ Luft	10 424	2,06		
	γ) „ „ Luftfeuchtigkeit	10 905	2,15	21 754	4,29
	Heizwerth der Kohle	483 000	95,71	483 000	95,71
	Total	504 754	100,00	504 754	100,00
Wärmeverwendung	Nutzeffect	270 321	53,40	270 321	53,40
	Wärmeentgang durch unvollständige Verbrennung	1 212	0,24	1 212	0,24
	„ „ die Temperatur des Rostdurchfalles	1 250	0,25	1 250	0,25
	„ „ „ Esse:				
	α) durch die trockenen Gase	171 528	33,87		
	β) „ ihren Wassergehalt	47 631	9,40	219 159	43,27
	Leitungs- und Strahlungs-Verlust	12 805	2,84	12 805	2,84
	Total	504 321	100,00	504 321	100,00

7. Heizversuch bei Kessel Nr. 1519

(mit Mörath'schem Schwarzrauch-Verzehrungs-Apparat).
Dauer des Versuches 3 Stunden 5 Minuten.
Menge der verbrannten Kohle 350,5 (pro Stunde 113,80 *kg*).
Verdampfte Wassermenge 1501 *l*
(pro Stunde 487,33 *l*; pro 100 *kg* Kohle 428,25 *l*).
Verdampfung pro 1 *kg* Kohle 4,28 *l*.
Mittlere Temperatur des Speisewassers 10° C.
„ Dampfspannung 5,15 *at*.
Siedetemperatur 152,10° C.
Menge des Rostdurchfalles 46,6 *kg*.

Zusammensetzung des Rostdurchfalles

in Procenten		pro 100 *kg* Kohle	
Wasser	0,33%	Wasser	0,05 *kg*
Kohlenstoff	2,95%	Kohlenstoff	0,39 *kg*
Asche	96,72%	Asche	12,87 *kg*
	100,00		13,31 *kg*

Mittlere Temperatur der zuströmenden Verbrennungsluft 16,41° C.
Mittlerer Feuchtigkeitsgehalt der zuströmenden Verbrennungsluft 9,79 *g* pro 1 m^3.
Mittlerer Barometerstand 713,54 *mm*.
Mittlere Temperatur der Essengase 273° C.
„ Zusammenstellung der Essengase (mit Berücksichtigung der Saugzeit):

Kohlensäure	9,2 m^3
Sauerstoff	10,4 m^3
Kohlenoxyd	—
Stickstoff	80,4%
	100,00%

oder pro 100 *kg* Kohle:

Kohlensäure	92,00 m^3
Sauerstoff	104,00 m^3
Kohlenoxyd	—
Stickstoff	804,00 m^3
	1000,00 m^3

Zusammensetzung der Verbrennungsluft

	pro 1 m^3	pro 100 *kg* Kohle	
Sauerstoff	0,21 m^3	803,75 m^3	1017,40 m^3
Stickstoff	0,79 m^3	213,65 m^3	
Wasser	0,00979 *kg*	9.96 *kg*.	

Feuchtigkeitsgehalt der Essengase pro 100 *kg* Kohle:

aus der Verbrennungsluft	9,96 *kg*
aus der Kohle	18,82 *kg*
bei der Verbrennung gebildet	30,78 *kg*
	59,56 *kg*

(Hiebei wurde die eingeblasene Dampfmenge nicht berücksichtigt, dieselbe findet bei der Wärmeberechnung ihre Berücksichtigung.)

Heizeffect der Kohle 4830 Cal.

Bestimmung der Dampfzuströmung:

Nachträglich wurde bei 5,5 *at* Druck ein Verdampfungsversuch ausgeführt, welcher bei gleicher Drosselung der Dampfleitung, wie beim Heizversuche ergab, dass pro Stunde 81,72 *kg* Wasserdampf der Feuerung zugeführt wurde.

NB. Während des Heizversuches war im Aschenraume ein Stück Werg in Brand gerathen, welches mit Wasser gelöscht wurde, dessen Menge leider nicht besimmt werden konnte.

Wärmezufuhr durch Luft und Kohle:
α) durch die Kohle $20,51 \times 0,20 \times 100 = 410$ Cal.
β) durch die Luft $20,51 \times 0,3075 \times 1017,4 = 6414$ „
durch den Wassergehalt der Luft
$612,75 \times 9,96 = 6103$ „
12 927 Cal.

Wärmeentgang durch unvollständige Verbrennung:
Kohle im Rostdurchfall $0,39 \times 8080 = 3151$ Cal.

Wärmeentgang durch die Essengase:

	m^3	sp. W.	W. Cap.
CO_2	92,00	× 0,4266 =	39,2372
O_2	104,00	× 0,3121 =	32,4584
N_2	804,00	× 0,3066 =	246,5064

$318,2020 \times 273 = 86\,869$ Cal.

H_2O 59,56(636 + 173 × 0,48) . . . = 42 883 Cal.

Nutzbar gemachte Wärme . . . . . 129 752 Cal.

Verdampftes Wasser pro 100 *kg* Kohle

$\frac{100 \times 1501}{350,5}$ . . . . = 428,25 *kg*

Verdampfungswärme derselben bei 5,15 *at*

428,25 × 652,9 . . . . . . = 279 604 Cal.

Hievon ab die vom 10° C. warmen Speisewasser mitgebrachte Wärme

10 × 428,25 = 4 282 „

275 322 Cal.

Wärmeentgang durch die Temperatur des Rostdurchfalles:

0,24 × 400 × 13,26 . . . . 1274 Cal.

Wärmeverlust durch Strahlung und Leitung.

Derselbe ist hier nicht aus der Differenz bestimmbar, weil nicht alle anderen Daten vollständig genug vorliegen. Nimmt man an, dass er in beiden Kesseln (Nr. 1519 und 1520) für gleiche Zeiträume gleich gross gewesen sei, so beträgt derselbe für die Versuchszeit 104 873 Cal. und somit pro 100 *kg* Kohle

$\frac{104\,873}{3,505}$ = 29921 Cal.

Berücksichtigt man ferner, dass bei nahezu gleichgrosser Wärmeausnützung in beiden Kesseln der Wärmeentgang durch die Essengase (inclusive der später zu besprechenden eingeblasenen Dampfmenge) im vorliegenden Falle um 219 159 — (129 752 + 51 703) = = 37 704 Cal. pro 100 *kg* Kohle kleiner ist, als beim vorhergehenden Heizversuche, so muss offenbar der Wärmeverlust durch Leitung und Strahlung im vorliegenden Falle ungefähr um dieselbe Grösse wachsen; man erhält daher für denselben den Werth 67 625 Cal.

Wärmezufuhr durch den eingeblasenen Wasserdampf:

Nach den Verdampfungsversuchen wurden pro 100 *kg* Kohle $\frac{81,72 \times 3,08}{3,505}$ = 71,81 *kg* Wasserdampf unter dem Roste eingeblasen, dessen Temperatur etwa auf 100° C. geschätzt werden kann. Derselbe bringt daher mit sich: 637 × 71,81 . . . = 39 373 Cal.

Wärmeverlust durch den eingeblasenen Dampf bei seinem Entweichen in die Esse:

71,81 × (637 + 173 × 0,48) . . . = 51 703 Cal.

Wärmeverlust durch das in den Aschenraum gegossene Wasser:

483 000 + 12 927 + 39 373 — (3151 + 129 752 + 275 322 + 1274 + 67 625 + 51 703) = 535 300 — 528 827 = = 6473 Cal.

Hieraus berechnet sich die Menge dieses Wassers zu

$x(637 + 173 \times 0,48) = 6473$

$720\,x = 6473$

$x = 8,99$ *kg*

pro 100 *kg* Kohle oder zu 3,505 × 8,99 = 31,5 *kg*, während des ganzen Versuches, was mit oberflächlicher Schätzung 25—30 *l*) recht gut übereinstimmt.

Wärmebilanz:

	Benanntlich	Einzeln Calorien	Einzeln %	Zusammen Calorien	Zusammen %
Wärmeproduction	Von Aussen zugeführt:				
	α) durch die Kohle	410	0,08		
	β) „ „ Luft	6 414	1,20		
	γ) „ „ Luftfeuchtigkeit	6 103	1,13	12 927	2,41
	δ) „ den eingeblasenen Dampf	39 373	7,33	39 373	7,33
	Heizwerth der Kohle	483 000	90,26	483 000	90,26
	Total	535 300	100,00	535 300	100,00
Wärmeverwendung	Nutzeffect	275 322	51,29	275 322	51,29
	Wärmeentgang durch unvollständige Verbrennung der Kohle im Rostdurchfalle	3 151	0,58	3 151	0,58
	Wärmeentgang durch die Temperatur des Rostdurchfalles	1 274	0,24	1 274	0,24
	„ „ „ Esse:				
	α) durch die trockenen Gase	86 869	16,18		
	β) „ ihren Wassergehalt	42 883	7,99		
	γ) „ den eingeblasenen Dampf	51 703	9,63		
	δ) „ das in den Aschenraum gegossene Wasser	4 318	0,80	185 773	34,60
	Leitungs- und Strahlungsverlust	71 380	13,29	71 380	13,29
	Total	535 300	100,00	535 300	100,00

NB. Da ein Theil des producirten Dampfes unter den Rost geleitet wurde, reducirt sich der wirkliche Nutzeffect auf 275 322 — 71,81 (637 + 152,1 × 0,48) = = 275 322 — 50 98 = 270 224 Cal. oder 50,33%.

III. Vergleichende Zusammenstellung.

Kessel Nr.	1520			1519		1518	1515
Heizversuch Nr.	6	4	1	5	7	2	3
Art der Feuerung	ohne	mit	ohne		mit	ohne	
	Möráth'schem Schwarzrauch - Verzehrungs - Apparat						
Der Versuch umfasst	vollen Betrieb		Pause u. Charge	vollen Betrieb		Pause und Charge	
Wärmeproduction pro 100 kg Kohle							
Von Aussen zugeführt:							
α) durch die Kohle	425	400	460	400	410	435	485
β) „ „ Luft	10 424	6 794	} 8 990	4 310	6 414	} 11 080	} 8 870
γ) „ „ Luftfeuchtigkeit	10 905	5 820		4 674	6 103		
δ) „ eingeblasenen Dampf	—	1 924	—	—	39 373	—	—
Heizwerth der Kohle	483 000	483 000	574 400	483 000	483 000	574 400	574 400
Total	504 754	497 938	583 850	492 384	535 300	585 965	583 755
Wärmevertheilung pro 100 kg Kohle							
Nutzeffect:	270 321	312 686	307 070	286 273	275 322	305 280	296 320
Wärmeentgang durch unvollständige Verbrennung	1 212	9 406	37 970	24 306	3 151	45 594	34 860
Wärmeentgang durch die Temperatur des Rostdurchfalles	1 250	1 274	1 323	1 274	1 274	1 269	1 226
Wärmeentgang durch die Temperatur der Essengase:							
α) durch die trockenen Gase	171 528	115 236	126 947	119 153	86 869	132 321	129 772
β) „ ihren Wassergehalt	46 631	44 661	45 903	45 687	42 883	48 699	51 974
γ) „ in den Aschenraum gegossenes Wasser	—	—	—	—	4 318	—	—
Wärmeentgang durch Abkühlung des eingeblasenen Dampfes	—	76	—	—	51 703	—	—
Leitungs- und Strahlungs-Verlust	12 805	14 599	64 637	15 691	71 380	52 775	69 603
Total	504 754	497 938	583 850	492 384	535 300	585 965	583 755
Wärmeproduction in Procent							
Von Aussen zugeführt:							
α) durch die Kohle	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
β) „ „ Luft	2,06	1,36	} 1,54	0,87	1,20	} 1,89	} 1,52
γ) „ „ Luftfeuchtigkeit	2,15	1,16		0,94	1,13		
δ) „ eingeblasenen Dampf	—	0,38	—	—	7,33	—	—
Heizwerth der Kohle	95,71	97,02	98,38	98,11	90,26	98,03	98,40
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Wärmevertheilung in Procent							
Nutzeffect	53,40	62,91	52,62	58,48	51,29	52,06	50,77
Wärmeentgang durch unvollständige Verbrennung	0,24	1,88	6,50	4,92	0,58	7,77	5,97
Wärmeentgang durch die Temperatur des Rostdurchfalles	0,25	0,25	0,22	0,26	0,24	0,22	0,21
Wärmeentgang durch die Temperatur der Essengase:							
α) durch die trockenen Gase	33,87	23,06	21,74	24,12	16,18	22,58	22,23
β) „ ihren Wassergehalt	9,40	8,94	7,86	9,25	7,99	8,31	8,90
γ) „ in den Aschenraum gegossenes Wasser	—	—	—	—	0,80	—	—
Wärmeentgang durch Abkühlung des eingeblasenen Dampfes	—	0,02	—	—	9,63	—	—
Leitungs- und Strahlungs-Verlust	2,84	2,94	11,06	2,97	13,29	9,06	11,92
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Kessel Nr.	1520			1519		1518	1515
Heizversuch Nr.	6	4	1	5	7	2	3
Art der Feuerung	ohne	mit	ohne		mit	ohne	
	Möratb'schem Schwarzrauch-Verzehrungs-Apparat						
Der Versuch umfasst	vollen Betrieb		Pause u. Charge	vollen Betrieb		Pause und Charge	
pro Stunde verbrannte Kohle, *kg*	265,91	271	54,44	315	113,80	66,96	66,96
„ „ verdampftes Wasser *l*	1116,82	1160,15	259,13	1348,20	487,06	318,04	309,36
1 *kg* Kohle verdampft Wasser, *l*	4,20	4,65	4,76	4,28	4,28	4,75	4.62
Luftmengen pro 100 *kg* Kohle: N_2 m^3	1260,29	872,76	1262,17	700,81	803,75	1472,96	1168,24
O_2 „	335,01	232,00	302,85	186,29	213,65	335,20	284,96
Summe	1595,30	1104,76	1565,02	887,10	1017,40	1828 16	1453,20
H_2O *kg*	15,79	9,50	17,69	7,63	9,96	21,87	23,89
Essengasmenge pro 100 *kg* verbrannter Kohle: CO_2 *kg*	181,58	176,69	192,94	179,64	180,78	186,67	193,42
O_2 *kg*	268,65	115,05	282,86	76,88	148,62	361,47	256,19
CO *kg*	—	2,60	1,31	9,54	—	5,93	3,24
N_2 *kg*	1581 22	1095,19	1583,27	879,50	1008,54	1847,69	1465,45
Summe	2031,45	1388,53	2060,08	1145,56	1337,94	2401,76	1918,30
H_2O *kg*	65,39	62,12	65,39	57,23	137,37	69,57	71.59
Summe	2096,84	1450,65	2125,47	1202,79	1475,31	2471,33	1989,89
Breite des Rauchcanales *m*	0,713	0,713	0,713	0,713	0,713	0,630	0,630
Freie Höhe des Rauchcanales (zufolge der Schieberstellung) *m*	0,500	0,250	—	0,550	0,165	—	—
Freier Querschnitt des Rauchcanales (zufolge der Schieberstellung) m^2	0,357	0,178	—	0,392	0,118	—	—
Gasmengen, welche pro Minute die Esse passiren: CO_2 *kg*	8,047	7,421	1,736	9,341	3,435	2,053	2,128
O_2 *kg*	11,907	4,832	2,544	4,000	2,824	3,976	2,818
CO *kg*	—	0,110	0,010	0,496	—	0,065	0,036
N_2 *kg*	69,980	46,000	14,249	45,734	19,162	20,325	16,120
Summe	89,934	58,363	18,539	59,571	25,431	26,419	21,102
H_2O *kg*	2,890	2,800	0,600	3,000	2,600	0,770	0,800
Summe	92,824	61,163	19,139	52,571	28,031	27,189	21,902
Heizfläche m^2	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	50,00	52,00
Wirksame Rostfläche m^2	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13
Verhältniss $\frac{\text{Rostfläche}}{\text{Heizfläche}}$	$\frac{1}{21,6}$	$\frac{1}{21,6}$	$\frac{1}{21,6}$	$\frac{1}{21,6}$	$\frac{1}{21,6}$	$\frac{1}{23,5}$	$\frac{1}{24,4}$
Anzahl der nutzbaren Feuerzüge	2	2	2	2	2	3	3
Flammentemperatur °C.	1064	1198	1034	1374		930	1126
Essengastemperatur °C.	354	347	260	436		232	285
Temperaturabnahme °C.	710	851	774	938		698	841

Die nachfolgende Tabelle enthält die mittlere Zusammensetzung der Essengase, und zwar für die Heizversuche Nr. 1, 2 und 3 sowohl getrennt für die Pausen und die Chargen, als auch für beide Perioden gemeinsam. Diese Trennung der genannten Heizversuche konnte wegen mangelnder Beobachtungen nicht für alle Daten durchgeführt werden.

Kessel Nr.	1520					1519		1518			1515		
Heizversuch Nr.	6	4	1	1	1	5	7	2	2	2	3	3	3
Art der Feuerung	ohne	mit	ohne				mit	ohne					
	Mörath'schem Schwarzrauch-Verzehrungs-Apparat												
Der Versuch umfasst	vollen Betrieb		Pause	Charge	Pause, Charge	voller Betrieb		Pause	Charge	Pause, Charge	Pause	Charge	Pause, Charge
Zusammensetzung der Essengase*) CO_2 Vol%	6,00	8,60	5,49	8,87	6,33	10,70	9,20	4,33	7,80	5,22	5,24	10,71	4,82
O_2 „	12,20	7,70	15,14	11,01	14,10	6,30	10,40	16,57	11,89	15,37	15,56	9,20	13,72
CO „	—	0,20	0,07	—	0,05	0,90	—	0,17	0.50	0,26	—	0,62	0,18
N_2 „	81,80	83,50	79,30	80,32	79,52	82.10	80,40	78,93	79,81	79,15	79,20	79,47	79,28
Summe	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100 00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Luftüberschuss	3,31	2,29	3,26	2,03	2,83	1,84	2,11	4,08	2.31	3,20	3,66	1,53	2,74

*) Die übrigen Bestimmungen wurden in dieser Versuchsreihe nicht durchgeführt.

IV. Vergleichung der vorstehenden 7 Heizversuche.

Die beiden Serien von Heizversuchen wurden, wie schon angedeutet, zu verschiedenen Zeiten und zu verschiedenen Zwecken angestellt. Während die erste Serie zur Beurtheilung der Feuerung bei abwechselnd forcirtem Betriebe (Chargen) und dazwischen liegender Fristung (Pausen) — wobei eine gewisse Dampfspannung erhalten bleiben sollte — dienen sollte, wurde mit der zweiten Serie eine Beurtheilung des Mörath'schen Schwarzrauch-Verzehrungsapparates beabsichtigt.

Abgesehen von der Ungleichheit der Kessel (die schon eingangs erwähnt wurde) sind die vorliegenden Heizversuchsresultate nicht ohne Weiteres vergleichbar. In dieser Hinsicht muss zuerst sehr bedauert werden, dass bei dem vierten und fünften Heizversuche die directe Bestimmung der nutzbar gemachten Wärme nicht möglich war, weshalb gerade diese wichtigsten Zahlen nicht die gewünschte Sicherheit bieten, um hierauf ganz unzweifelhafte Schlüsse über den Werth des Mörath'schen Apparates in Bezug auf Wärmeausnützung gründen zu können. Dies ist umsomehr zu bedauern, als auch der siebente Heizversuch (Kessel Nr. 1520 mit Mörath'chem Apparate) keineswegs geeignet ist, ein richtiges Urtheil über diesen Apparat zu begründen. Bei letzterem Heizversuche wurde nämlich vom Erfinder so ängstlich geheizt, dass pro Stunde nur 113,8 *kg* Kohlen verbrannt wurden. Dem zufolge stieg sowohl die pro 100 *kg* Kohle eingeblasene Dampfmenge (71,81 *kg*, wozu noch 8,99 *kg* in den Aschenfall gegossenes Wasser kommen), welche ja abkühlend auf die Flammen wirken mussten, als auch der Wärmeverlust durch Leitung und Strahlung (71 380 Cal.) so bedeutend, dass es eigentlich überrascht, die pro 100 *kg* Kohle verdampfte Wassermenge (428 *kg*, oder nach Abzug des dem Kessel entnommenen und unter den Rost geblasenen Wasserdampfes, der ja in der Dampfmaschine nicht nutzbar gemacht werden kann (428—72 = 356 *kg*) nicht bedeutend kleiner zu finden.

Auch die erste Serie von Heizversuchen lässt keinen unmittelbaren Vergleich mit denen der zweiten Serie zu, da dieselben für Pausen und Chargen nicht getrennt ausgeführt wurden und so also einen Durchschnitt darstellen, der nur bedingungsweise einen Vergleich mit den anderen Heizversuchen gestattet. Hier muss erwähnt werden, dass der oben besprochene siebente Heizversuch sich in Folge des ausserordentlich niedrigen Brennstoffverbrauches weit mehr den Pausen- und Chargenzeit umfassenden Heizversuchen der ersten Serie, als denen der zweiten Serie nähert.

Wenn trotz der besprochenen Umstände die vorstehenden Heizversuche doch publicirt wurden, so geschieht dies theilweise aus dem Grunde, weil dieselben zeigen, wie man selbst bei nicht vollständigen Heizversuchen noch zu brauchbaren Resultaten gelangen kann, hauptsächlich aber, weil eine Reihe von Heizversuchen unter möglichst abweichenden Bedingungen, gerade wenn in so ungünstigen Feuerungsanlagen ausgeführt wie die vorstehenden, recht augenfällig auf die Richtigkeit der eingangs aufgestellten Sätze hinweist.

Betrachten wir zunächst die Wärmoproduction bei den vorstehenden Versuchen, so ergibt sich beim siebenten Heizversuche (Kessel Nr. 1519 mit Mörath'schem Schwarzrauch-Verzehrungsapparate) eine bedeutende Erhöhung der von Aussen zugeführten Wärme durch den eingeblasenen Wasserdampf, was — wie aus dem bereits Gesagten hervorgeht — einzig und allein von der bis zum Extrem getriebenen Reduction des Brenstoffverbrauches herrührt. Dieser Umstand bewirkt aber gleichzeitig allerdings ein Steigen der absoluten Grösse der nutzbar gemachten Wärme, jedoch auch ein, und zwar sehr erhebliches Sinken des ziffermässigen Ausdruckes dafür, nämlich des in Procenten der ganzen vorhandenen

Wärme ausgedrückten Nutzeffectes, welcher nur 51,29% beträgt, während er bei dem am gleichen Tage ausgeführten Heizversuche des Kessels Nr. 1520 sich zu 53,40% ergab (die nutzbar gemachte Wärme betrug jedoch pro 100 *kg* Kohle im ersten Falle 275 322 Cal. gegen 270 321 Cal. im zweiten Falle). Weiters ist hervorzuheben, dass die Kohle bei den Versuchen der ersten Serie eine bessere war, als bei denen der zweiten Versuchsserie, was sich sowohl im Heizwerthe derselben (5744 gegen 4830 Cal.), als in deren Aschen- (8,92% gegen 12,87%) und Nässegehalt (12,05 gegen 18,82%) deutlich ausspricht. Hiedurch wächst aber bei der ersten Heizversuchsreihe nicht nur die absolute Höhe der nutzbar gemachten Wärme, sondern auch die Verdampfungskraft der Kohle, der theoretisch nöthige Luftbedarf, die 100 *kg* entsprechende Gasmenge und somit auch der Wärmeverlust durch den Essenzug in Calorien ausgedrückt etc., während allerdings die betreffenden in Procenten ausgedrückten Wärmevertheilungswerthe keine erheblichen Veränderungen erleiden.

Was nun die Wärmevertheilung anbelangt, so ergibt sich zunächst die auffallende Thatsache, dass die in absoluten Zahlen (Calorien) ausgedrückte Menge der nutzbar gemachten Wärme nicht nur bei Anwendung des Mörath'schen Apparates (wenn man die gleichzeitig ausgeführten Heizversuche mit einander vergleicht), sondern auch in jenen Fällen wächst, in welchen die Verbrennung keine vollständige war. Es ist dies eine um so wichtigere Thatsache, als sie zeigt, dass das gegenwärtige allgemeine Bestreben, eine vollkommene Verbrennung zu erzielen, nur bedingungsweise rationell ist. Die Ursache dieser Erscheinungen soll im Zusammenhange mit Anderem später besprochen werden.

Der Wärmeentgang durch unvollständige Verbrennung setzt sich aus jenen Wärmeverlusten zusammen, die von der unverbrannten Kohle des Rostdurchfalles und jenen, die von der CO-Bildung herstammen. Erstere Zahlen sind bei den Heizversuchen Nr. 1 bis 3 weit grösser, als bei denen der 2. Serie, was — da in beiden Versuchsreihen die nämliche Kohlensorte verbrannt wurde — wohl nicht von der Kohlenqualität, sondern wahrscheinlich davon herrühren dürfte, dass bei ersteren Versuchen zu viel geschürt wurde, oder aber, dass überhaupt während der langen Pausen, wegen der grossen Abkühlung durch die zutretende Luft, die Strahlung etc. keine so vollständige Brennstoffverbrennung erzielt werden kann, wie bei normaler Heizung.

Der durch CO-Bildung verursachte Wärmeverlust hängt natürlich von der Grösse des Luftüberschusses und dem Grade der Vermischung von Luft und den aus der Kohle entwickelten Gasen ab.

Die Wärmeverluste durch die Temperatur des Rostdurchfalles sind sehr übereinstimmend und überhaupt minimal, umsomehr, als ja die Wärme des Rostdurchfalles die zutretende Verbrennungsluft vorwärmt, also zu einem erheblichen Theile wieder ausgenützt wird.

Der Wärmeentgang durch die Temperatur der Essengase ist recht erheblichen Schwankungen unterworfen, was einerseits von der Temperatur, mit welcher sie in die Esse treten, andererseits aber auch von ihrer Menge und Zusammensetzung abhängig ist, worauf später noch zurückgekommen wird.

Die Wärmeverluste durch Abkühlung des eingeblasenen Dampfes sind selbst in jenem Falle, in welchem die Verhältnisse durch extreme Brennstoffersparniss sich am ungünstigsten gestalteten, recht unerheblich, könnten übrigens durch zweckmässige Umhüllung der Dampfleitungen noch weiter verringert werden.

Den grössten Schwankungen sind die Wärmeverluste durch Leitung und Strahlung unterworfen, da dieselben für eine und dieselbe Feuerung der Zeit und der Temperatur proportional sind, also in Bezug auf die Gewichtseinheit Kohle um so grösser werden, je weniger Kohle in der Zeiteinheit verbrannt wird.

Die Angaben über den Kohlenverbrauch und die producirte Dampfmenge pro Stunde gaben ein Bild der Intensität des Betriebes, während die Mengen des von 1 *kg* Kohle verdampften Wassers (die allerdings den Nutzeffecten nicht vollständig proportional sind) den Effect der Feuerung erkennen lassen.

Die volumprocentische Zusammensetzung der Essengase, die Angaben über den Luftüberschuss und die pro 100 *kg* Kohle zugetretene Luftmenge zeigen, welche Beziehungen zwischen der zugetretenen Luftmenge und der erzielten Vollständigkeit der Verbrennung bestehen. Dass hiebei jedoch auch Ausnahmen vorkommen, zeigt das Auftreten von CO in den Rauchgasen bei Kessel Nr. 1520 (1. Heizversuch 0,07 Vol.-% CO bei 3,26fachem Luftüberschuss) und noch viel mehr bei Kessel Nr. 1518 (2. Heizversuch 0,17 Vol.-% CO bei 4,08fachem Luftüberschuss), was sich nur dadurch erklären lässt, dass die Heizung eine ungleichmässige war und beim Nachheizen (theils durch Aufgabe von zu viel Kohle auf einmal, theils durch die damit zusammenhängende Abkühlung) CO-Bildung eintrat.

Die Zahlen über die Essengasmengen pro 100 *kg* verbrannter Kohle erklären einerseits theilweise die Grösse der Wärmeverluste durch Essenzug, andererseits geben sie im Verein mit den nachfolgenden Daten über Breite, freie Höhe und freien Querschnitt des Rauchcanales, sowie über die, pro Minute die Esse passirenden Gasmengen Aufschluss über die Grösse des Zuges.

Die weiteren Angaben über die Dimensionen der Feuerungen, die Flammen- und Essengas-Temperaturen werden bei der weiteren Beurtheilung der vorliegenden Daten ihre Berücksichtigung finden.

Zunächst ergibt sich aus der Betrachtung der vorstehenden Zahlen, dass durch die Anwendung des Mörath'schen Apparates eine bedeutende Steigerung

des Zuges hervorgerufen wird, die um so erheblicher ist, wenn man berücksichtigt, dass bei Anwendung des Mörath'schen Apparates die Essengas-Temperatur niedriger war, als ohne denselben:

Kessel-Nr.		Essengasmenge pro Minute	Querschnitt des Rauchcanales	Essengas-Temperatur
1519 ohne	Mörath-schen Apparat	52,571 *kg*	0,392 m^2	436 °C
1519 mit		28,031 „	0,118 „	273 „
1520 ohne		92,824 „	0,357 „	354 „
1520 mit		61,163 „	0,178 „	347 „

Dieser Umstand, der sich aus der Construction des Apparates von selbst erklärt, ist für Neuanlagen, sowie für Locomotiven und Dampfschiffe von grosser Wichtigkeit, da er eine erhebliche Verkürzung der Schornsteine gestattet. Dass ein derartiger Vortheil nicht ohne Kosten (in unserem Falle Dampfverbrauch) errungen werden kann, ist selbstverständlich, doch scheint es nach den Versuchen bei Kessel Nr. 1520, dass schon eine ziemlich geringe Dampfmenge (6 *kg* per 100 *kg* Kohle, also etwa 1,4% der gesammten Dampfproduction) hinreicht, eine Steigerung des Zuges um etwa 50% hervorzurufen.

Im Zusammenhang mit der Stärke des Zuges steht natürlich die Grösse des Luftüberschusses, doch spielt hier noch ein anderer Umstand mit. Es ergaben nämlich die Versuche Nr. 4 bis 7 bezüglich des Luftüberschusses und des Kohlenoxydgehaltes der Essengase, also bezüglich der erzielten Vollständigkeit der Verbrennung die nachfolgenden Resultate:

Kessel Nr.	Luftüberschuss	CO, Vol.-%
1519 ohne Mörath'schen Apparat	1,84	0,9
1519 mit beiden Dampfröhren	2,11	—
1520 nur mit der vorderen Dampfröhre	2,29	0,2
1520 ohne Mörath'schen Apparat	3,31	—

Trotzdem also bei Kessel Nr. 1519, bei welchem beide Dampfröhren functionirten, ein geringerer Luftüberschuss erzielt wurde, als bei Kessel Nr. 1520, wo die rückwärtige Dampfrohrleitung ausser Thätigkeit gesetzt war, wurde doch im ersteren Falle eine vollständige, im letzteren aber eine unvollständige Verbrennung erzielt.

Vergleicht man hiemit auch noch die entsprechenden Daten der übrigen Versuche:

1515	Charge	1,53	0,62
1520	„	2,03	—
1518	„	2,31	0,50
1515	Pause und Charge	2,74	0,18
1520	„ „ „	2,83	0,05
1518	„ „ „	3,20	0,26
1520	„ „ „	3,26	0,07
1515	„ „ „	3,66	—
1518	„ „ „	4,08	0,17

so zeigt sich, dass bei den Kesseln ohne Mörath'schen Apparat und besonders ohne das rückseitige Dampfrohr im Allgemeinen (einen einzigen Fall ausgenommen), zur Erzielung vollständiger Verbrennung ein weit höherer Luftüberschuss erforderlich ist, als bei Anwendung des Mörath'schen Apparates und ganz besonders des rückseitigen Dampfrohres. Die Wirkung des letzteren beruht offenbar auf der durch den entgegenströmenden Dampfstrahl bewirkten besseren Mischung von Luft und aus dem Brennstoff entwickelten brennbaren Gase.

Freilich darf hiebei nicht vergessen werden, dass die Reduction des Luftüberschusses mit einem Zuwachs an Wasser Hand in Hand geht, dessen Grösse allerdings aus den vorliegenden Heizversuchen nicht mit Sicherheit zu ermitteln ist. Um jedoch hierüber ein ungefähres Urtheil zu erlangen, wollen wir annehmen, dass zu diesem Zwecke eine 4mal so grosse Dampfzuströmung erforderlich sei, als der Versuch Nr. 4 bei Kessel Nr. 1520 ergab (also $4 \times 3 = 12$ *kg* Dampf pro 100 *kg* Kohle).

Nun sind zur vollständigen Verbrennung von 100 *kg* Kohle, wie sie beim Versuche verwendet wurde, der Theorie nach an trockener Verbrennungsluft erforderlich $4{,}8123 \times 1{,}293 \times 100 = 622{,}2304$ *kg* Luft, welche zur Zeit des Versuches an Wasserdampf mit sich gebracht hätten $0{,}0171 \times 4{,}8123 \times 100 = 8{,}2290$ *kg*. Nimmt man ferner, was nach der obigen Zusammenstellung entschieden niederer gegriffen ist, an, dass ohne den Mörath'schen Apparat mit dem rückseitigen Dampfrohre erst bei 2,5fachem Luftüberschusse vollständige Verbrennung zu erhalten sei, während mit diesem Apparate, wie vorliegende Untersuchungen zeigen, schon ein 2,11facher Luftüberschuss genügt, so werden durch diesen Apparat offenbar $2{,}50 - 2{,}11 = 0{,}39$ des theoretisch nöthigen Luftquantums, die $0{,}39 \times 622{,}23 + 0{,}39 \times 8{,}229 = 242{,}6697$ *kg* Luft $+ 3{,}2093$ *kg* Wasser erspart. Berücksichtigt man die eingeblasenen 12 *kg* Dampf, so haben wir in den Essengasen eine Verminderung um 242,67 *kg* Luft und eine Vermehrung um $12{,}00 - 3{,}21 = 8{,}79$ *kg* Wasserdampf.

Lassen wir den ziemlich unerheblichen Unterschied in der Wärmezufuhr von aussen, der durch die gemachte Annahme bewirkt wird, einfachheitshalber unberücksichtigt und untersuchen, in welchem Grade sich hiedurch der Wärmeverlust durch die Esse verändern wird. Nehmen wir die Essengastemperatur mit 300° C an, so entspricht der Luftersparniss eine Reduction des Essenzugverlustes um:

$300 \times 242{,}67 \times 0{,}238 =$ . . . . . 17 326 Cal.
während die Mehrzufuhr von 8,79 *kg* Wasserdampf eine Vermehrung des Wärmeentganges von $8{,}79\,(637 + 200 \times 0{,}48) =$ 6 443 Cal.
repräsentirt, so dass der Feuerung noch immer ein Wärmegewinn von . . . 10 883 Cal.
zugute kommen wird. Der Wärmegewinn fällt aber in Wirklichkeit noch grösser aus, weil ja, wie die vorstehenden Versuche zeigen, durch das Einblasen von Dampf eine Erniedrigung der Essengastemperatur erzielt wird.

Allerdings wird dieser Wärmegewinn nicht in seiner Gänze nutzbar gemacht werden können, da ein, bei normalem Heizen ziemlich kleiner Theil desselben den Wärmeverlust durch Strahlung und Leitung erhöhen wird.

Wenden wir uns nun zunächst zu den Wärmevertheilungs-Verhältnissen, so ist vor Allem der bei sämmtlichen Versuchen ausgewiesene geringe Nutzeffect (er liegt zwischen 50,77% und 62,91%) auffallend. Derselbe rührt offenbar von der Enge der Feuerzüge her, welche eine solche Geschwindigkeit der heissen Gase bewirken, dass dieselben nicht genügend lange Zeit mit den Kesselwänden in Berührung bleiben, um eine befriedigende Wärmeübertragung auf dieselben zu ermöglichen. Dass diese Erklärung die richtige sei, geht daraus hervor, dass nach den Heizversuchen der ersten Serie der Nutzeffect bei allen drei untersuchten Kesseln ziemlich gleich ausfiel, trotzdem dieselben in Bezug auf Länge der Kessel, Heizfläche und Anzahl der Feuerzüge recht erheblich variiren, wie nachfolgende Zahlen zeigen:

Kessel Nr.	Heizfläche	Zahl der Feuerzüge	Nutzeffect
1520	46 m^2	2	52,62%
1518	50 „	3	52,06 „
1515	52 „	3	50,77 „

Ordnet man ferner die Heizversuche nach den Nutzeffecten, so erhält man nachfolgende Zahlen:

Nutzeffect	Kessel Nr.	Luftüberschuss	pr. 100 *kg* Kohle eingebl. Dampf	CO Vol.-%	Kohlenverbrauch pr. Stunde
62,91%	1520	2,29fach	6,00 *kg*	0,2 %	271 *kg*
58,48 „	1519	1,84 „	— „	0,9 „	315 „
53,40 „	1520	3,31 „	— „	— „	266 „
52,62 „	1520	2,83 „	— „	0,05 „	54 „
52,06 „	1518	3,20 „	— „	0,26 „	67 „
51,29 „	1519	2,11 „	71,84 „	— „	113,8 „
50,77 „	1515	2,74 „	— „	0,18 „	67 „

Sieht man vorläufig von den beiden Heizversuchen mit dem Möra th'schen Apparate ab, so ergibt sich, dass im Allgemeinen der Nutzeffect um so grösser wird, je kleiner der Luftüberschuss ausfällt, was ja auch von vorneherein zu erwarten war, da der Wärmeverlust durch die Esse um so grösser wird, je mehr Luft zur Feuerung tritt. Ganz auffallend ist dies, wenn man die 2. und 3. Reihe der angeführten Heizversuche vergleicht. Bei ersterer waren 0,9 Vol.-% CO gebildet, also eine recht unvollkommene Verbrennung erzielt worden, und doch erreichte man bei diesen Versuchen 58,48% Nutzeffect, während der in der 3. Reihe aufgeführte Heizversuch trotz der erzielten vollständigen Verbrennung nur 53,40% Nutzeffect ergeben hatte. Noch geringere Nutzeffecte ergaben die Heizversuche der 4., 6. und 7. Reihe, bei welchen durchaus ein grösserer Luftüberschuss als beim Versuche der 2. Reihe vorhanden war. Dass übrigens der Nutzeffect dieser drei letzterwähnten Heizversuche kleiner ausfiel als jener des Versuches der 3. Reihe, trotzdem der Luftüberschuss des letzteren (3,31) grösser war als der der drei ersterwähnten (2,83, 3,20 und 2,74), rührt von dem geringen stündlichen Brennstoffverbrauche her, durch welchen der Wärmeverlust durch Leitung und Strahlung (11,06, 13,39 und 11,92%) ein weit grösserer wurde, als beim Versuche der 3. Reihe (2,84%).

Aus den vorstehenden Betrachtungen resultirt nun die für die Praxis nicht unerhebliche Thatsache, dass es nur dann rationell ist, vollständige Verbrennung anzustreben, wenn dies, etwa wie es bei Gasfeuerungen möglich ist, mit einem recht minimalen Luftüberschuss erreicht werden kann. Anderenfalls ist es zweckmässiger, den Luftüberschuss dadurch zu reduciren, dass man sich begnügt, eine Verbrennung zu erreichen, welche Essengase mit möglichst wenig Kohlenoxydgas ergibt. Die zweckmässigste Art bei der Heizung für eine gegebene Feuerungsanlage aufzufinden, wäre Aufgabe einer Reihe von Heizversuchen, deren Durchführung gleichzeitig zur Belehrung des Heizens dienen könnte.

Wenden wir uns schliesslich zur Betrachtung des Nutzeffectes bei den mit Möra th'schem Apparate versehenen Feuerungen, so handelt es sich hauptsächlich darum, eine Erklärung für das schon früher erwähnte günstigere Verhalten dieser Feuerungen zu finden. Dies ist um so nothwendiger, als der beim Versuche Nr. 4 ausgewiesene hohe Nutzeffect, wie schon mehrfach angedeutet, nicht direct ermittelt, sondern nur auf dem Wege des Calculs abgeleitet werden konnte, also nicht völlig beweiskräftig erscheint.

Um die Erklärung hiefür zu finden, muss man sich klar machen, dass das Resultat der Verbrennung nicht bloss die Entwicklung einer gewissen Wärmemenge an und für sich, sondern auch die Erlangung einer bestimmten Flammentemperatur ist. Die Anzahl der producirten Wärmeeinheiten hängt (ein und dasselbe Brennmaterial vorausgesetzt) von der Menge der verbrannten Kohle, sowie von der Menge der von Aussen zugeführten Wärme ab. Die erreichte Temperatur hingegen ist der Quotient aus der producirten Wärmemenge und der Wärmecapacität sämmtlicher Verbrennungsproducte.

Es gibt nun drei Haupt-Wärmeverwendungsarten, deren Abhängigkeit von der Menge der producirten Wärme und von der erreichten Flammentemperatur (ein und dieselbe Feuerungsanlage vorausgesetzt) nun betrachtet werden soll.

1. Der Wärmeverlust durch Leitung und Strahlung erfolgt hauptsächlich bei den Feuerthüren und dem Roste. Er ist bei einer und derselben Feuerungsanlage von der Zeit und der Flammentemperatur abhängig, wird also (gleiches Brennmaterial, gleichen Luftüberschuss und gleiche Flammentemperatur vorausgesetzt) mit Bezug auf die Gewichtseinheit Brennstoff um so grösser, je weniger Kohle in der Zeiteinheit verbrannt wird. Dieser Umstand verursachte den relativ geringen Nutzeffect beim Heizversuche Nr. 7.

2. Zunächst hieran reiht sich die nutzbar gemachte Wärme. Für eine und dieselbe Feuerungsanlage ist dieselbe ebenfalls proportional der Temperatur und der Zeit, während welcher die aus der Gewichtseinheit Brennstoff entstandenen heissen Gase sich im Heizraume aufhalten; sie ist also umgekehrt proportional der Geschwindigkeit dieser Gase.

In den vorstehenden Zusammenstellungen sind nun die Flammentemperaturen (mit Zugrundelegung der Essengasanalysen berechnet), die Essengastemperaturen, sowie die Differenz beider, das ist die Temperaturabnahme, welche die Feuergase auf ihrem Wege zur Esse erleiden, aufgeführt und hieraus ergibt sich, dass — während die Flammentemperaturen zwischen 930° C und 1374° C (also um 440° C) variiren — die Grösse der Abkühlung der Heizgase auf dem Wege zur Esse weit weniger, nur zwischen 698° C und 938° C (also um 240° C) schwankt und — wie natürlich — mit steigender Flammentemperatur wächst, mit sinkender aber abnimmt.

Will man also einen hohen Nutzeffect erzielen, so ist es nothwendig, eine hohe Flammentemperatur zu erreichen, also (bei gleichem Brennstoffe) mit geringem Luftüberschusse zu arbeiten.

Da nun der Rest der producirten Wärme nach Abzug des Leitungs- und Strahlungsverlustes, sowie der nutzbar gemachten Wärme mit den Rauchgasen in die Esse entweicht, zur Erzielung eines genügenden Zuges aber nur eine Temperatur von etwa 200° C erforderlich ist, eine höhere Essengastemperatur somit unwiderbringliche Wärmeverluste involvirt, ist es die Aufgabe des Feuerungstechnikers, eine 200° C nicht wesentlich übersteigende Essengastemperatur zu erreichen und gleichzeitig eine möglichst grosse Wärmemenge nutzbar zu machen.

Dies gelingt in erster Linie dadurch, dass man den heissen Gasen auf ihrem Wege zur Esse genügende Zeit gibt, ihren Wärmeinhalt auf das zu erwärmende Material zu übertragen, indem man einerseits ihren Weg möglichst verlängert, andererseits aber (und dies ist besonders wichtig) ihre Geschwindigkeit reducirt (durch grossen Querschnitt der Feuerzüge).

Ein zweites Mittel zur Erreichung desselben Zweckes ist die Ausnützung der Abhitze einer Feuerung zum Vorwärmen der Verbrennungsluft oder in einer beliebigen anderen Weise (zur Heizung von Räumen, zum Trocknen, zur Heizung von Dampfkesseln bei Flammöfen etc. etc.).

Ein drittes Mittel endlich beruht darauf, den Feuergasen eine solche Zusammensetzung zu geben, dass sie bei ihrer Abkühlung eine möglichst grosse Wärmemenge abgeben, oder, mit anderen Worten, eine hohe specifische Wärme besitzen. In dieser Beziehung kommt in erster Linie der Wasserdampf und, wo es sich um hohe Temperaturen handelt, vielleicht auch die CO_2 in Betracht. Der Wasserdampf besitzt schon bei gewöhnlicher Temperatur eine weit höhere specifische Wärme als die anderen hier in Frage kommenden Stoffe, und sowohl bei Wasserdampf als bei CO_2 steigt dieselbe mit der Temperatur ganz bedeutend, wie die nachfolgende von R. Åkerman zusammengestellte Tabelle über die mittleren specifischen Wärmen dieser beiden Körper zwischen 0° und t° C erkennen lässt.

Specifische Wärme des Wasserdampfes und der Kohlensäure.

Nach Richard Åkerman.*)

		Wasserdampf	CO_2
t = 0°	Cp_{0-t} =	0,427	0,195
„ = 100	„ =	0,454	0,206
„ = 200	„ =	0,480	0,217
„ = 300	„ =	0,506	0,227
„ = 400	„ =	0,532	0,237
„ = 500	„ =	0,557	0,247
„ = 600	„ =	0,582	0,257
„ = 700	„ =	0,607	0,266
„ = 800	„ =	0,631	0,276
„ = 900	„ =	0,655	0,285
„ = 1000	„ =	0,679	0,294
„ = 1100	„ =	0,703	0,303
„ = 1200	„ =	0,726	0,312
„ = 1300	„ =	0,750	0,321
„ = 1400	„ =	0,773	0,329
„ = 1500	„ =	0,796	0,338
„ = 1600	„ =	0,819	0,347
„ = 1700	„ =	—	0,355
„ = 1800	„ =	—	0,364

Da nun die specifische Wärme der permanenten Gase weit kleiner (ungefähr 0,24) und fast von der Temperatur unabhängig ist, muss die früher angedeutete Möglichkeit, einen Theil des zur Erzielung vollständiger Verbrennung nöthigen Luftüberschusses durch eine gewisse Menge Wasserdampf ersetzen zu können, auch in Bezug auf die Menge der nutzbar gemachten Wärme als vortheilhaft bezeichnet werden.

Doch selbst im Falle es sich nicht um einen Ersatz von permanenten Gasen durch Wasserdampf, sondern um eine directe Mehrzufuhr des letzteren handelt, liesse sich hiedurch ein Vortheil erwarten, so lange gewisse Grenzen nicht überschritten werden. Diese Grenzen sind aber gegeben einerseits durch die Forderung einer minimalen Essengastemperatur von 200° C und andererseits durch den Umstand, dass die Flammentemperatur nicht unter die Entzündungstemperatur der gebildeten Gase (also nicht unter 800° C etwa) sinken darf.

Ein Beispiel, zu welchem der Heizversuch Nr. 4 bei Kessel Nr. 1520 dienen soll, wird dies klar machen und die Irrthümlichkeit dieser Erwartung zeigen. Wir wollen so viel Dampf einblasen, dass die Essengastemperatur von 347° C auf 200° C sinke. Da, nach dem Heizversuche vom 16. und 17. September 1884, einer Essengastemperatur von 232° C eine Abkühlung der Heizgase um 698° C entspricht, können wir auch die 200° C entsprechende Abkühlung mit etwa 700° C

*) Mallard und Le Chatelier stellen für die specifischen Wärmen von CO_2 und Wasserdampf folgende Gleichungen auf:

a) specifische Wärme bei constantem Volum, bezogen auf das Atomgewicht:

CO_2 : $Cv = 6{,}3 + 0{,}00564\,t - 0{,}00000108\,t^2$
H_2O (Dampf): $Cv = 5{,}91 + 0{,}00376\,t - 0{,}000000155\,t^2$

b) specifische Wärme bei constantem Druck, bezogen auf die Gewichtseinheit:

CO_2 : $Cp = 0{,}188 + 0{,}000273\,t - 0{,}0000000537\,t^2$
H_2O (Dampf): $Cp = 0{,}420 + 0{,}000364\,t$

annehmen; wir müssen also trachten, eine Flammentemperatur von 200° + 700° = 900° C zu erzielen.

Sehen wir einfachheitshalber ganz davon ab, dass — wie oben angedeutet — durch ein rationelles, vermehrtes Dampfeinblasen eine kleine Ersparniss an Verbrennungsluft, ja selbst, dass hiedurch eine vollständige Verbrennung erzielt werden könne, so berechnet sich die zur Erzielung einer Flammentemperatur von 900° C einzublasende Dampfmenge wie folgt:

Bei dem fraglichen Versuche war pro 100 *kg* Kohle an Wärme disponibel:

	Cal.
Durch die Temperatur der Kohle eingeführt .	400
" " " " Luft " .	6 794
" " " " Luftfeuchtigkeit eingeführt	5 820
Durch den eingeblasenen Dampf	1 924
Heizwerth der Kohle	483 000
Summe . .	497 938
Hievon wurden nicht producirt	9 406
Es waren daher thatsächlich vorhanden . . .	488 532

Wenn wir nun noch x *kg* Dampf einblasen, so werden durch dieselben noch weiter der Feuerung zugeführt werden 637 x Cal.

Nun beträgt ferner:

Die Wärmecapacität der trockenen Essengase 331,8045
" " ihres Wassergehaltes incl. der noch einzublasenden x *kg* Dampf:

$$(59,1 + x)\ 0,655 = 38,7105 + 0,655\,x,$$

wobei die latente Verdampfungswärme des Wassers bei 0° C (606,5 Cal.) nicht berücksichtigt wurde, weshalb die entsprechende Grösse, das ist (59,1 + x) 606,5 = 35844 × 606,5 x Cal. von der gesammten disponiblen Wärme noch in Abzug gebracht werden muss. Man kommt somit zu dem Ausdrucke:

$$\frac{488\,532 + 637\,x - (35544 + 606,5\,x)}{331,8045 + 38,7105 + 0,655\,x} = 900^\circ \mathrm{C}$$

und hieraus ergibt sich die noch einzublasende Dampfmenge zu

$$x = \frac{119524,5}{559,0} = 213,8\ kg$$

Betrachten wir nun die hiebei zu erzielende Wärmevertheilung:

Wärmeentgang durch unvollständige Verbrennung (bleibe ungeändert) mit	9 406 Cal.
Wärmeentgang durch die Temperatur des Rostdurchfalles (bleibe ungeändert) . .	1 274 "
Wärmeentgang durch die Temperatur der Essengase:	
α) durch die trockenen Gase 331,8045 × 200 = ...	66 361 "
β) durch ihren Wassergehalt: (59,1 + 214) (606,5 + 0,48 × 200) = ...	193 066 "
Leitungs- und Strahlungsverlust: $\frac{900 \times 14\,599}{1198}$ = ...	10 967 "
Summe . .	281 074 Cal.
Nutzbar gemachte Wärme: 497 938 + 637 × 214 — 281 074 = .	353 182 "

Dieser Nutzeffect lässt sich auch noch in einer anderen Weise berechnen, wodurch man zu einem ganz ähnlichen Resultate kommt, indem man nämlich die von den 900° C warmen Gasen bei ihrer Abkühlung um 700° C abgegebenen Wärmemengen berechnet und hievon den Strahlungsverlust abzieht. Man hat dann:

Wärmeabgabe der trockenen Gase: 331,8045 × 700 = ...	232 263,15 Cal.
Wärmeabgabe ihres Wassergehaltes (59 + 214) (900 × 0,655 — 200 × 0,48) = 160 933,5 — 26 208,0 = .	134 725,50 "
	366 988,65 Cal.
ab Leitungs- und Strahlungsverlust .	10 967 "
Nutzbar gemachte Wärme	356 021,65 Cal.

Durch das Einblasen von 216 *kg* 100° C warmen Dampfes wurde somit der Nutzeffect um etwa $^1/_8$ = 12,5% seines Werthes gesteigert, wozu allerdings 216 *kg* Dampf, welche bei dem Siedepunkte von 152,47% C gebildet, einen Wärmeaufwand von 216 (606,5 + 152,47 × 0,48) = 146 880 Cal. darstellen, eingeblasen werden müssten. Da also, um den Nutzeffect um 356 021 — 312 686 = 43 335 Cal. zu erhöhen, im Dampfe 146 880 Cal. (also an zur Dampfbildung nöthigen Kohlen noch weit mehr) hätten aufgewendet werden müssen, so erscheint es nicht zweckmässig, grössere Dampfmengen einzublasen, als zur möglichsten Reduction des nöthigen Luftüberschusses gerade erforderlich ist. Ob es übrigens nicht noch zweckmässiger ist, bei möglichst geringem Luftüberschuss eine nicht ganz vollständige Verbrennung zu erzielen, ist eine Frage, deren Beantwortung die Durchführung einer grösseren Zahl mit einander unmittelbar vergleichbarer Heizversuche erfordern, aber auch rentiren müsste. Die vorstehenden Versuche würden dafür sprechen.

Weit günstiger muss sich die Sache stellen, wenn man unter dem Roste eine Wasserlade anordnen würde, indem hiedurch nicht nur ein Theil der sonst durch Leitung und Strahlung etc. verloren gehenden Wärme wieder der Feuerung zugeführt, sondern auch die oben berührten Eigenthümlichkeiten des Wasserdampfes bezüglich seiner specifischen Wärme ausgenützt werden könnten.

Wenn auch dem Anschein nach bei Anwendung des Mörath'schen Apparates der Rauch etwas weniger dunkle Farbe annahm, so scheint es doch, dass die Rauchbildung auf diesem Wege — mindestens bei Kesselfeuerungen — nicht vermieden werden könne. Diese dürfte nur bei Gas- oder Halbgasfeuerungen, und zwar dann gelingen, wenn für die Verbrennung ein genügend grosser und entsprechend heisser Raum vorhanden ist.

Zum Schlusse möge es gestattet sein, nicht nur die Durchführung einer Serie von wenigstens drei Heizversuchen für jede einzelne zu prüfende Feuerung zu empfehlen, sondern auch auf die Nothwendigkeit hinzuweisen, den Heizwerth des verwendeten Brenn-

stoffes direct (etwa mit dem Apparat von Mahler in Paris oder nach der oben erwähnten Methode des Verfassers) zu bestimmen, da ohne eine derartige Bestimmung die Grösse des Leitungs- und Strahlungsverlustes unmöglich verlässlich ermittelt werden kann.

Auf den Werth, welchen bei Beurtheilung einer Feuerung die Ermittlung der Gastemperaturen an verschiedenen Stellen derselben besitzt, braucht wohl nach dem Vorstehenden nicht hingewiesen zu werden; jedenfalls wäre hier die Anwendung geeigneter Pyrometer empfehlenswerth.



Verlag des Verfassers. — Druck von Gottlieb Gistel & Comp. in Wien, I., Augustinerstrasse 12.







